

PRODUKSI BIOETANOL DARI NIRA SORGUM (*SORGHUM BICOLOR LINNAEUS MOENCH*) DENGAN VARIASI BERAT ADSORBEN BATU ZEOLIT

Fathiya Nur Atiqah

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: fathiyanur.21003@mhs.unesa.ac.id

Muhaji

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhaji61@unesa.ac.id

Abstrak

Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia dari tahun 2021 hingga 2022 mengalami peningkatan. Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan antara ketersediaan sumber daya dan permintaan energi, yang dapat menyebabkan kelangkaan bahan bakar di masa depan. Oleh karena itu, diperlukannya energi alternatif yang dapat menjadi solusi yaitu bioetanol. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis variasi berat adsorben batu zeolit yang paling efektif dalam proses distilasi dan kelayakan secara ekonomis sebagai bahan bakar. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan bahan nira sorgum yang memiliki kandungan gula sebesar 17,93%. Proses produksi bioetanol dilakukan melalui proses ekstraksi, pasteurisasi, fermentasi, distilasi bertingkat dan adsorpsi. Bahan baku nira sorgum sebanyak 50000 ml dipasteurisasi dengan suhu 63°C selama 30 menit. Kemudian di fermentasi selama 3 hari menggunakan ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*) 50 gr/l, urea 2,5 gr/l, NPK 3 gr/l, dan distilasi bertingkat pada suhu 75-78°C. Distilasi 1 dan 2 tanpa menggunakan adsorben, sedangkan distilasi 3, 4, dan 5 menggunakan adsorben batu zeolit dengan mesh 100 dengan variasi berat (9 gr, 12 gr, dan 15 gr) masing-masing dalam 300 ml pada suhu pemanasan zeolit 140°C selama 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi berat adsorben yang optimal adalah 15 gr, yang menghasilkan kadar etanol tertinggi sebesar 92%. Perhitungan nilai ekonomi bioetanol dari nira sorgum adalah sebesar Rp. 113.931,00 per liter.

Kata Kunci: bioetanol, karakteristik, nira sorgum, batu zeolite.

Abstract

The number of motorized vehicles in Indonesia from 2021 to 2022 has increased. As a result, there is an imbalance between resource availability and energy demand, which may lead to fuel scarcity in the future. Therefore, the need for alternative energy that can be a solution is bioethanol. The purpose of this research is to analyze the most effective weight variation of zeolite stone adsorbent in the distillation process and its economic feasibility as fuel. This research uses an experimental method with sorghum nira material which has a sugar content of 17.93%. The bioethanol production process is carried out through extraction, pasteurization, fermentation, multistage distillation and adsorption. The raw material of 50000 ml of sorghum sap was pasteurized at 63°C for 30 minutes. Then fermented for 3 days using baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) 50 g/l, urea 2.5 g/l, NPK 3 g/l, and multistage distillation at 75-78°C. Distillation 1 and 2 without using adsorbent, while distillation 3, 4, and 5 used zeolite stone adsorbent with mesh 100 with weight variation (9 g, 12 g, and 15 g) each in 300 ml at zeolite heating temperature of 140°C for 30 minutes. The results showed that the optimal adsorbent weight variation was 15 g, which produced the highest ethanol content of 92%. The calculation of the economic value of bioethanol from sorghum juice is Rp. 113,931.00 per liter.

Keywords: bioethanol, characteristic, sorghum juice, zeolite stone.

PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak atau BBM dari fosil merupakan sumber energi utama yang memiliki peran sangat penting dalam sektor rumah tangga, transportasi dan industri modern. Di zaman modern sekarang, kendaraan bermotor adalah sarana transportasi paling umum digunakan, baik individu maupun perusahaan. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) dalam kurun waktu 2021-2022 mencatat bahwa adanya peningkatan jumlah pemilik kendaraan bermotor dari 141.992.573 unit menjadi 148.261.817 unit (Badan Pusat Statistik, 2024). Disamping daripada sektor transportasi, kenaikan laju konsumsi bahan bakar juga dipengaruhi oleh kegiatan rumah tangga dan industri. Pada tahun 2022 total konsumsi energi *final* Indonesia mencapai

160 juta TOE dengan perincian transportasi sebesar 60 juta TOE, industri sebesar 71,8 juta TOE, rumah tangga sebesar 20,2 juta TOE, sektor komersial sebesar 6,8 juta TOE, dan sektor lainnya sebesar 1,5 juta TOE (Dewan Energi Nasional, 2023).

Peningkatan konsumsi bahan bakar yang terjadi seiring dengan semakin menurunnya ketersediaan sumber energi fosil dapat menyebabkan terjadinya kelangkaan bahan bakar di masa mendatang. Hal ini dibuktikan melalui data Statistik Minyak dan Gas (2024), yang menunjukkan cadangan gas bumi Indonesia yang mengalami penurunan, dari 60,61 TSCF (*Trillion Standard Cubic Feet*) pada tahun 2021 menjadi 54,83 TSCF pada tahun 2022 dan kembali turun menjadi 54,76 TSCF di tahun 2023. Sementara itu, kondisi berbeda terjadi pada cadangan minyak bumi

Indonesia yang justru mengalami peningkatan, dari 3,95 ribu MMSTB (*Million Stock Tank Barrels*) pada tahun 2021 menjadi 4,17 ribu MMSTB pada tahun 2022 dan kembali naik menjadi 4,70 ribu MMSTB. Meskipun demikian, berdasarkan proyeksi SKK Migas (2024), cadangan gas bumi Indonesia diperkirakan akan habis dalam waktu 22 tahun ke depan sedangkan cadangan minyak bumi Indonesia diperkirakan dapat bertahan sekitar 12 tahun ke depan.

Kondisi ini menunjukkan bahwa ketergantungan terhadap energi fosil, khususnya minyak bumi, masih sangat tinggi, sementara cadangan yang tersedia semakin menipis. Ketidakseimbangan tersebut dapat menimbulkan dampak serius yaitu kelangkaan bahan bakar jika tidak ditemukan sumber bahan bakar minyak baru (Manahara dkk., 2023). Oleh karena itu, diperlukan upaya nyata dalam mencari dan mengembangkan sumber energi alternatif berbahan nabati yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Sumber energi alternatif yang dapat diperbarui sebagai pengganti bahan bakar minyak dan aman untuk lingkungan diantaranya bioetanol, biodiesel, biosolar, dan lain-lain.

Untuk mendukung pengadaan energi alternatif di Indonesia, pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang mendorong pengembangan bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak bumi. Selain itu, pemerintah juga menunjukkan keseriusannya dalam pengembangan bahan bakar nabati dengan menerbitkan Instruksi Presiden (Inpres) No. 1 Tahun 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai sumber energi alternatif (Saputra dan Susila, 2020).

Upaya ini sejalan dengan kebijakan energi baru terbarukan (EBT) yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014, di mana pemerintah menargetkan penggunaan energi EBT minimal sebesar 23% pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050 (Pemerintah Indonesia, 2014). Untuk mencapai target tersebut, pemerintah berupaya mengurangi impor bensin dengan memanfaatkan bioetanol, sebagaimana tertuang dalam Peraturan Presiden No. 40 Tahun 2023 tentang percepatan swasembada gula nasional dan penyediaan bioetanol sebagai bahan bakar nabati. Salah satu agenda nyata yang akan segera direalisasikan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) adalah implementasi bahan bakar nabati bioetanol E5 (Kementerian ESDM, 2023).

Bioetanol adalah jenis bahan bakar yang berasal dari proses pengolahan tumbuh-tumbuhan yang mengandung karbohidrat (pati, gula dan selulosa), melalui proses fermentasi untuk menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dan etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (Auliya dkk., 2021). Berbagai tanaman manis telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol, seperti sorgum manis, bit gula, dan tebu (Mathur *et al.*, 2017). Selain tebu, tanaman sorgum menonjol sebagai salah satu sumber potensial bioetanol. Berdasarkan data Departemen Kesehatan Republik Indonesia (1992), sorgum memiliki karbohidrat 70,7%, kadar serat kasar 2%, kadar protein 10,4%, kadar lemak 3,1%, dan kadar abu 1,6%. Seluruh bagian dari tanaman sorgum bisa dimanfaatkan, tetapi yang memiliki kadar gula yang cukup

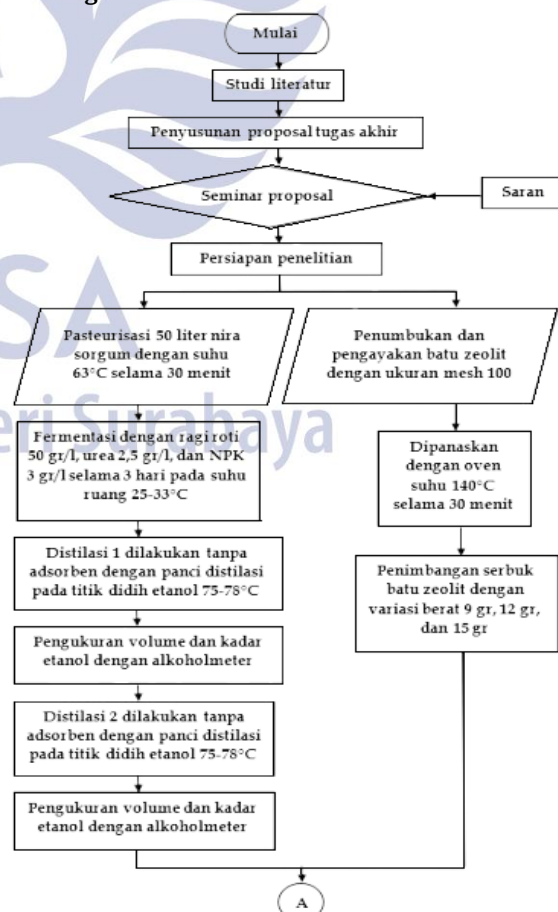
tinggi sehingga berpotensi besar untuk dijadikan sebagai bioetanol adalah niranya. Menurut Sirappa (2003), niranya dari batang sorgum memiliki kadar brix 13,60-18,40%, kadar gula reduksi 0,75-1,35%, kadar gula total 11-16%, kadar sukrosa 10-14,40%.

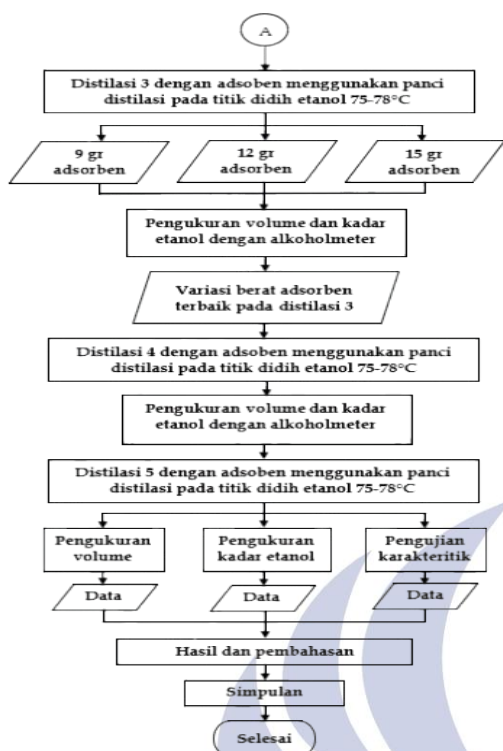
Proses produksi bioetanol dari niranya sorgum melibatkan beberapa tahapan utama, yaitu pasteurisasi atau pemanasan cairan di bawah titik mendidih yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen (Haq dan Azis, 2024). Tahap selanjutnya adalah fermentasi menggunakan ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*) untuk mengubah gula dalam niranya sorgum menjadi etanol dalam kondisi anaerob (Rifdah dkk., 2022). Setelah fermentasi selesai, hasil fermentasi didistilasi untuk memisahkan etanol dari komponen lain berdasarkan perbedaan titik didih. Untuk memperoleh bioetanol dengan kemurnian tinggi diperlukan metode distilasi bertingkat (Nahak dkk., 2024). Namun dalam proses tersebut masih diperlukannya bantuan batu zeolit sebagai adsorben untuk mendapatkan kemurnian yang optimal. Adsorben adalah zat padat berpori yang mampu menghisap dan melepaskan komponen tertentu dari suatu fase fluida (Nurhayati *et al.*, 2023).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis melakukan penelitian kolaborasi untuk mengkaji produksi bioetanol dari niranya sorgum terutama pengaruh berat adsorben pada proses distilasi agar menghasilkan kadar bioetanol tertinggi dan kelayakan secara ekonomis bioetanol niranya sorgum.

METODE

A. Rancangan Penelitian





Gambar 1 Rancangan Penelitian

B. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Proses produksi bioethanol berbahan baku nira sorgum dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 01 September sampai 30 Maret 2025

C. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu zeolit dengan variasi berat 9 gr, 12 gr, dan 15 gr.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadar bioetanol, volume bioetanol, densitas bioetanol.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah nira sorgum sebanyak 50000 ml dengan kadar gula total 17,93% yang diperoleh dari PT Sedana Panen Sejahtera Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang, batu zeolit sebagai adsorben dengan ukuran mesh 100 suhu pemanasan 140°C selama 30 menit dengan variasi berat 9 gr, 12 gr, dan 15 gr, suhu pasteurisasi nira sorgum 63°C selama 30 menit, Proses fermentasi selama 3 hari menggunakan ragi roti 50 gr/l, pupuk npk 3 gr/l

dan pupuk urea 2,5 gr/l. Proses distilasi menggunakan suhu titik didih etanol 75-78°C.

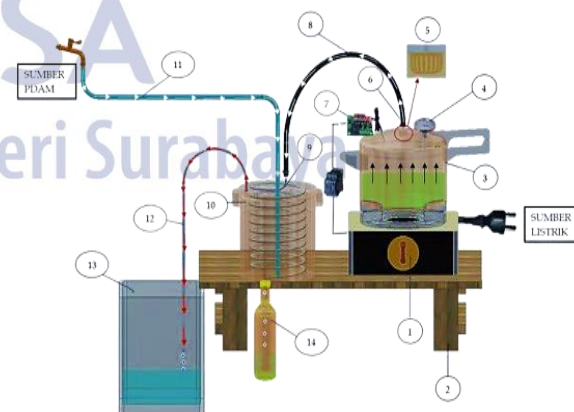
D. Alat dan Bahan

1. Alat

- Kompor listrik 300 watt
- Panci presto
- Selang *flexible*
- Pipa *spiral*
- Panci pendingin
- Panci 15 liter
- Selang air *in*
- Selang air *out*
- Botol penampung bioetanol
- Aluminium foil
- Galon air
- Palu
- Corong
- Oven listrik
- Kain Saring
- Saringan mesh 100
- Termometer dial
- Timbangan digital
- Alkoholmeter
- Gelas ukur
- Filter* adsorben
- Klem selang *flexible*
- Rangkaian termostat
- Wadah penampungan air panas

2. Bahan

- Nira sorgum
- Ragi roti
- Pupuk NPK
- Pupuk urea
- Batu zeolit



Gambar 2 Rangkaian Distilasi

Keterangan:

- Kompor listrik
- Meja
- Panci presto
- Termometer dial

5. Filter adsorben
6. Klem selang *flexible*
7. Rangkaian *thermostat*
8. Selang *flexible*
9. Pipa spiral
10. Panci pendingin
11. Selang air *in*
12. Selang air *out*
13. Wadah penampungan air panas
14. Botol penampungan etanol

E. Prosedur Penelitian

1. Tahap Persiapan

a. Persiapan nira sorgum

- 1) Menyiapkan bahan baku nira sorgum, alat dan instrumen penelitian.
- 2) Menyaring nira sorgum hasil ekstraksi menggunakan kain saringan untuk memisahkan kotoran dengan nira sorgum murni.
- 3) Mengukur volume nira sorgum sesuai takaran.

b. Persiapan batu zeolit

- 1) Menghancurkan dan mengayak batu zeolit dengan ukuran mesh 100.
- 2) Batu zeolit dipanaskan menggunakan oven listrik pada suhu 140°C selama 30 menit.
- 3) Menimbang batu zeolit dengan variasi berat 9 gr, 12 gr, dan 15 gr.

2. Tahap Pasteurisasi

- a. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan untuk proses pasteurisasi.
- b. Memasukkan nira sorgum kedalam panci dan didihkan dengan temperatur 63°C selama 30 menit selanjutnya dinginkan sampai suhu normal.

3. Tahap Fermentasi

- a. Menyiapkan nira sorgum yang sudah di pasteurisasi dan peralatan yang digunakan pada proses fermentasi.
- b. Menimbang ragi roti (50 gr/l), urea (2,5 gr/l) dan NPK (3 gr/l) sesuai kebutuhan.
- c. Kemudian melubangi galon dan memasang selang yang menjadi penghubung antara galon dengan botol berisi air.
- d. Pastikan selang dan lubang terpasang dengan rapat, bila perlu rapatkan dengan lem/plastisin.
- e. Masukkan ragi roti, urea, dan NPK sesuai takaran ke dalam galon.
- f. Selanjutnya galon ditutup dan dikocok supaya ragi, pupuk urea, pupuk NPK, dan nira sorgum tercampur merata.

- g. Proses fermentasi dilakukan selama 72 jam (3 hari) dengan suhu ruang 25-33°C.

4. Tahap Distilasi

a. Distilasi tahap pertama

- 1) Menyiapkan peralatan untuk proses distilasi.
- 2) Masukkan cairan hasil fermentasi ke dalam panci distilasi dan dipanaskan pada titik didih bioetanol yaitu 75-78°C.
- 3) Menambahkan sirkulasi air mengalir dalam panci pendingin agar pipa uap distilasi tetap dingin.
- 4) Hasil dari distilasi pertama, kemudian diukur volume dan kadarnya menggunakan alkoholmeter.

- 5) Selanjutnya dilakukan distilasi tahap kedua yang bertujuan untuk meningkatkan kadar etanol yang dihasilkan.

b. Distilasi bertingkat

- 6) Pada penelitian ini peneliti mengulangi tahap distilasi untuk memperoleh kadar bioetanol >99,5%. Sehingga pada tahap distilasi ketiga ini ditambahkan serbuk (*powder*) batu zeolit ukuran mesh 100 dengan variasi berat 9 gr, 12 gr, dan 15 gr, masing-masing untuk 300 ml volume distilasi pada *filter* adsorben.
- 7) Hasil dari distilasi ketiga, dilakukan pengukuran volume dan pengujian kadar etanol menggunakan alkoholmeter.
- 8) Setelah diketahui berat adsorben optimal, gunakan berat adsorben tersebut untuk distilasi keempat dan kelima hingga didapatkan kadar bioetanol >99,5%.
- 9) Selanjutnya, dilakukan analisa karakteristik bioetanol dari nira sorgum.
- 10) Tahap distilasi selesai.

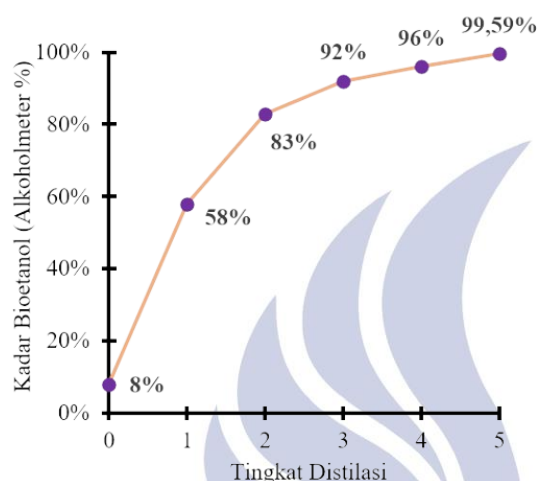
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Volume dan Kadar Bioetanol pada Proses Distilasi 1 sampai dengan 5

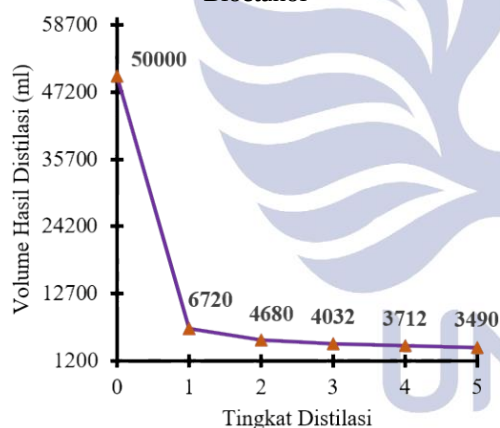
Proses distilasi bertingkat pada produksi bioetanol dari nira sorgum dilakukan dalam lima tahap. Distilasi tahap 1 dan 2 dilakukan tanpa penambahan adsorben, sedangkan pada tahap 3, 4, dan 5 menggunakan batu zeolite sebagai adsorben dalam proses distilasinya. Berikut adalah tabel hasil kadar dan volume bioetanol pada setiap tahap distilasi.

Tabel 1 Hasil Kadar dan Volume Bioetanol pada Proses Distilasi 1 sampai dengan 5

Distilasi ke-	Persentase Kadar		Volume Campuran		Banyaknya Distilasi
	Awal (%)	Akhir (%)	Awal (ml)	Akhir (ml)	
1	8	58	50000	6720	13 kali
2	58	83	6720	4680	2 kali
3	83	92	4680	4032	16 kali
4	92	96	4032	3712	14 kali
5	96	99,59	3712	3490	13 kali



Gambar 3 Grafik Tingkat Distilasi terhadap Kadar Bioetanol



Gambar 4 Grafik Tingkat Distilasi terhadap Volume Hasil Distilasi

Berdasarkan data pada tabel 1 yang telah dikonversikan kedalam bentuk grafik pada gambar 3 dan gambar 4 dapat dijelaskan bahwa penggunaan metode distilasi bertingkat yang dikombinasikan dengan penambahan adsorben batu zeolit menunjukkan adanya peningkatan kadar etanol seiring dengan bertambahnya tahap distilasi, namun sebaliknya, volume akhir distilat menunjukkan penurunan yang signifikan. Pada distilasi 1 dan 2 yang dilakukan tanpa menggunakan adsorben batu zeolit secara berurutan dari bioetanol kadar 8% dengan volume 50000 ml (hasil fermentasi) menjadi 58%

dengan volume 6720 ml (distilasi 1) dan 83% dengan volume 4680 ml (distilasi 2).

Pada distilasi tahap 1 dan 2, adsorben belum digunakan karena nira hasil fermentasi masih mengandung campuran kompleks seperti air, etanol, ampas, gula, dan getah, yang menyebabkan viskositas tinggi dan menghambat proses penguapan etanol. Tahap ini difokuskan pada pemisahan awal berdasarkan perbedaan titik didih etanol yaitu 75-78°C, karena penggunaan adsorben pada tahap ini belum efektif akibat masih tingginya kadar air. Hal ini sejalan dengan penelitian (Henryansyah dan Muhaji, 2023) yang menyatakan bahwa pada kondisi air tinggi menyebabkan zeolit cepat mencapai masa jenuh yang membuatnya tidak efektif jika digunakan. Distilasi awal bertujuan meningkatkan kemurnian etanol sebelum tahap pemurnian lanjutan menggunakan adsorben.

Sedangkan pada distilasi 3, 4, dan 5 menggunakan adsorben batu zeolit, secara berurutan menghasilkan bioetanol sebesar 92% dengan volume 4032 ml (distilasi 3), 96% dengan volume 3712 ml (distilasi 4), dan 99,59% dengan volume 3490 ml (distilasi 5). Penambahan adsorben pada distilasi 3, 4, dan 5 bertujuan mengatasi kondisi azeotrop yaitu kondisi campuran etanol-air yang sulit dipisahkan karena memiliki komposisi mendidih konstan. Batu zeolit digunakan karena sifatnya yang hidrofilik dan mampu menyerap air dari campuran uap.

Penurunan volume bioetanol seiring peningkatan kadar etanol pada setiap tahap distilasi disebabkan oleh pemisahan etanol pada titik didihnya sekitar 75-78°C. Pada suhu ini, etanol menguap lebih dulu, namun sebagian uap air tetap terbawa karena adanya ikatan hidrogen. Komponen lain dengan titik didih lebih tinggi tertinggal sebagai residu dalam panci distilasi. Akibatnya, volume bioetanol hasil distilasi menjadi lebih sedikit dibandingkan volume awal.

Panci distilasi yang digunakan berkapasitas 8000 ml. Distilasi tahap 1 dan 2 dilakukan bertahap sebanyak 4000 ml per proses, sedangkan tahap 3 hingga 5 hanya 300 ml per proses karena keterbatasan filter adsorben. Oleh karena itu, 50000 ml hasil fermentasi tidak didistilasi sekaligus, melainkan secara bertahap menyesuaikan kapasitas alat.

B. Hasil Variasi Berat Adsorben Batu Zeolit terhadap Yield Bioetanol pada Distilasi 3

Dalam penelitian ini, digunakan batu zeolit dengan ukuran mesh 100, yang dipanaskan pada suhu 140°C selama 30 menit, dengan variasi 9 gr, 12 gr, dan 15 gr per 300 ml volume distilasi. Penggunaan adsorben ini mulai diterapkan pada distilasi 3, dan hasil terbaik

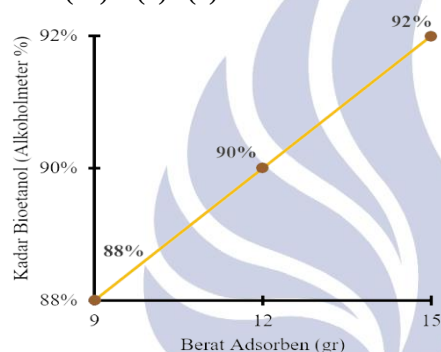
dari tahap ini kemudian digunakan Kembali pada distilasi 4 dan 5 untuk meningkatkan kemurnian bioetanol lebih lanjut sampai dengan standar bioetanol sebagai bahan bakar alternatif terpenuhi yaitu kadar etanol minimal 99,5% (Dirjen EBTKE, 2013).

Tabel 2 Hasil Variasi Berat Adsorben Batu Zeolit terhadap Yield Bioetanol pada Distilasi III

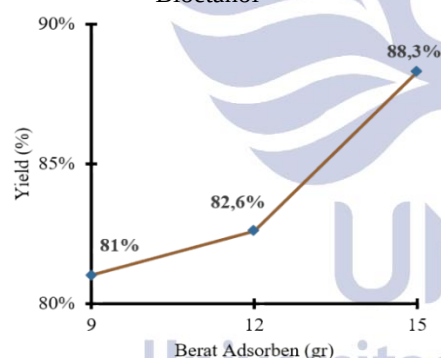
Perlakuan Batu Zeolit		Volume Etanol				Yield (%)
Berat Zeolit (gr)	Temperatur Pemanasan (°C)	Awal (ml)	Hasil (ml)	Sisa (ml)	Kadar Awal (%)	
1	2	3	4	5	6	7
9	140	300	243	53	83	88
12			248	46		90
15			265	31		92
						81
						82,6
						88,3

Keterangan:

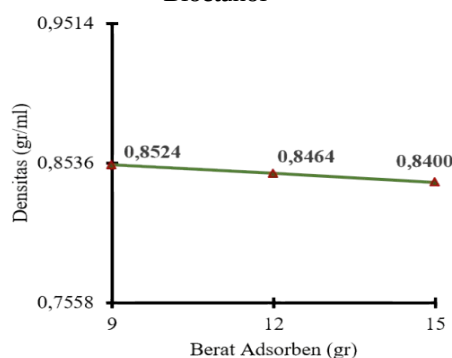
- 1). (6) dan (8) berdasarkan pengukuran alkoholmeter.
- 2). (7) dan (9) berdasarkan pengukuran piknometer.
- 3). Yield % (10) = (4) : (3) x 100%



Gambar 5 Grafik Berat Adsorben terhadap Kadar Bioetanol



Gambar 6 Grafik Berat Adsorben terhadap Yield Bioetanol



Gambar 7 Grafik Berat Adsorben terhadap Densitas Bioetanol

Berdasarkan tabel 2 yang telah dikonversikan menjadi grafik pada gambar 5, menunjukkan bahwa penambahan adsorben batu zeolit dengan variasi berat 9 gr, 12 gr, dan 15 gr dapat meningkatkan kadar bioetanol dari 83% secara berurutan menjadi 88%, 90%, dan 92% Peningkatan kadar ini dipengaruhi oleh ukuran partikel adsorben.

Ukuran partikel adsorben ini berkaitan dengan luas permukaan kontak antar zat, di mana semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaannya. Dengan luas permukaan yang lebih besar, interaksi antara adsorben dan air semakin optimal, sehingga meningkatkan efektivitas proses adsorpsi air dari campuran etanol-air. Hal ini sejalan dengan penelitian (Lamuru dkk., 2023) yang menyatakan bahwa semakin luas permukaan maka proses adsorpsi berlangsung optimal. Selain itu, semakin kecil ukuran partikel adsorben, maka semakin besar kecepatan adsorpsinya.

Hal ini berkaitan dengan perbedaan ukuran molekul air dan etanol, di mana molekul air memiliki ukuran lebih kecil 2,8Å dibandingkan molekul etanol 4,4Å (Khaidir dkk., 2011). Akibatnya, air dapat masuk dan terjerap ke dalam pori-pori zeolit yang memiliki ukuran diameter 4,0Å (Sinulingga, 2017), sedangkan etanol tidak dapat terserap karena ukuran molekulnya lebih besar dari pori-pori zeolit. terserap karena ukuran molekulnya lebih besar dari pori-pori zeolit. Selain itu, ukuran partikel zeolit juga mempengaruhi luas permukaan kontak antar zat. Oleh karena itu, semakin kecil ukuran partikel zeolit yang digunakan, semakin besar kadar etanol yang diperoleh karena proses pemisahan air menjadi lebih efektif (Wulandari dan Priyono, 2014).

Berdasarkan tabel 2 yang telah dikonversikan menjadi grafik pada gambar 6, menunjukkan bahwa penambahan adsorben batu zeolit berpengaruh terhadap peningkatan yield bioetanol. Pada penambahan adsorben sebesar 9 gr diperoleh yield sebesar 81%, selanjutnya penambahan adsorben 12 gr diperoleh 82,6%, dan penambahan adsorben 15 gr diperoleh yield bioetanol tertinggi yaitu sebesar 88,3%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak adsorben yang digunakan, semakin efektif proses pemisahan air dari campuran etanol.

Berdasarkan tabel 2 yang telah dikonversikan menjadi grafik pada gambar 7, menunjukkan bahwa semakin besar berat adsorben yang digunakan, densitas bioetanol cenderung mengalami penurunan. Pada penggunaan adsorben seberat 9 gr, densitas bioetanol tercatat sebesar 0,8524 gr/ml. Ketika berat adsorben dinaikkan menjadi 12 gr, densitas menurun menjadi

0,8464 gr/ml, dan pada berat 15 gr, densitas turun lagi menjadi 0,8400 gr/ml.

Penurunan densitas ini menunjukkan adanya peningkatan kemurnian etanol, karena etanol murni memiliki densitas lebih rendah dibandingkan campurannya dengan air. Oleh karena itu, semakin besar jumlah adsorben yang digunakan, semakin efektif proses pemisahan air, sehingga menghasilkan bioetanol dengan densitas mendekati etanol murni. Hal ini sejalan dengan penelitian (Soraya, 2022) yang menyatakan bahwa, nilai densitas berbanding terbalik dengan kadar etanol. Semakin besar densitas maka kadar etanolnya semakin kecil.

C. Hasil Perhitungan Nilai Ekonomis

Produksi bioetanol dilakukan dengan menggunakan bahan baku berupa nira sorgum sebanyak 50000 ml, ragi roti 2500 gr, pupuk urea 125 gr, pupuk NPK 150 gr, dan batu zeolit 612,2 gr untuk menghasilkan kadar etanol 99,59% dengan volume akhir 3490 ml. Berikut ini adalah tabel rincian biaya bahan baku untuk produksi bioetanol nira sorgum.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Nilai Ekonomis

No.	Bahan Baku	Banyaknya	Harga (Rp)	Total
1	Nira sorgum	50000 ml	Rp. 2.200/l	Rp. 110.000
2	Ragi roti	2500 gr	Rp. 55.000/500 gr	Rp. 275.000
3	Pupuk urea	125 gr	Rp. 10.000/kg	Rp. 1.250
4	Pupuk NPK	150 gr	Rp. 35.000/kg	Rp. 5.250
5	Batu zeolit	612,2 gr	Rp. 10.000/kg	Rp. 6.122
Total				Rp. 397.622

Berdasarkan tabel 4.3 dapat diketahui untuk menghasilkan bioetanol dengan kadar 99,59% dan volume 3490 ml dibutuhkan biaya sebesar Rp. 397.622. Sedangkan nilai ekonomis bioetanol nira sorgum dalam 1 liter adalah sebagai berikut.

$$\frac{1000 \text{ ml}}{3490 \text{ ml}} \times \text{Rp. 397.622} = \text{Rp. 113.931}$$

Melalui rincian perhitungan nilai ekonomis di atas, maka dapat disimpulkan bahwa harga bioethanol nira sorgum adalah sebesar Rp. 113.931/liter. Nilai ekonomis ini hanya berdasarkan biaya bahan baku.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian produksi bioethanol dari nira sorgum sebagai bahan bakar alternatif dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- Penambahan adsorben batu zeolit pada proses distilasi secara optimal dapat meningkatkan kadar etanol, di mana penggunaan batu zeolite seberat 15 gr menghasilkan volume akhir sebesar 265 ml dengan kadar etanol mencapai 92%. Hasil tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan variasi berat adsorben lainnya,

yaitu 9 gr dan 12 gr, baik dari segi volume maupun kadar etanol yang dihasilkan. Namun dari segi densitas variasi adsorben 15 gr menghasilkan densitas terendah yaitu 0,8400 gr/ml.

- Biaya bahan baku untuk pembuatan bioetanol dari nira sorgum berdasarkan total biaya bahan baku per satu liter sebesar Rp. 113.931.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dapat disampaikan beberapa saran yaitu sebagai berikut:

- Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi jenis, ukuran mesh dan berat adsorben yang lebih efektif dalam meningkatkan kadar etanol.
- Jika menggunakan galon sebagai wadah fermentasi, sebaiknya hanya mengisi kurang dari setengah kapasitas totalnya untuk mencegah luberan akibat gas dan busa pada proses fermentasi berlangsung.
- Apabila menggunakan panci presto sebagai alat distilasi, disarankan untuk mengganti *safety valve* dengan baut *stainless* yang tahan terhadap suhu dan tekanan serta rutin memeriksa kondisi *seal* pada tutup panci.
- Perlu mencari filter adsorben yang lebih besar agar dapat menampung berat adsorben yang lebih banyak.
- Proses distilasi perlu diperhatikan dengan lebih cermat, terutama pada setiap sambungan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada PT Sedana Panen Sejahtera yang telah banyak membantu dalam penyediaan nira sorgum untuk penelitian ini. Kedua Orang tua, keluarga, dan sahabat yang tiada henti memberikan doa, nasehat serta dukungan baik moril maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Prof. Dr. Drs. Muhaji, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, kritik dan saran yang membangun dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Ika Nurjannah, S.Pd., M.T. dan Bellina Yunitasari, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Auliya, R., Irdawati, P., Nabilah, R., Putri M. W., & Wulandari. 2021. "Analisis Potensi Limbah Pertanian dalam menghasilkan Biofuel dari proses Fermentasi". Prosiding SEMNAS BIO.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2024. *Basic Statistics of Indonesia*. Jakarta Pusat. Badan Pusat Statistik, Indonesia.
- Direktorat Bioenergi., Direktorat Jenderal Energi Baru., Terbarukan dan Konservasi Energi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral 2013.

- Direktorat Gizi, Departemen Kesehatan R. I. 1992. Daftar Komposisi Bahan Makanan. Berata, Jakarta.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2023. Statistik Minyak dan Gas Bumi 2022 *Oil and Gas Statistics*.
- Khaidir, D. S., dan Haerudin, H. 2011. “Modifikasi Zeolit Alam sebagai Material Molekular Sieve pada Proses Dehidrasi Bioetanol”.
- Lamuru, A. S., dan Juita, S. 2023. Pengaruh Ukuran Partikel Serbuk Kalsium Oksida (CaO) sebagai Adsorben Untuk Meningkatkan Kadar Etanol Teknis: Pengaruh ukuran Partikel Serbuk Kalsium Oksida (CaO) sebagai Adsorben untuk Meningkatkan Kadar Etanol Teknis. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, Vol. 5(1), hal. 1-5.
- Manahara, Sofian, Sheila Kusuma Putri dan Imaniar Septa Kencana W. 2023. “Tantangan Transisi Energi Terbarukan di Indonesia:(Studi Kasus PLTS di Kabupaten Cilacap)”. *Journal of Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering*. Vol. 1(1): hal. 78-90.
- Nahak, M., Kolo, S. M. D., dan Bria, P. M. 2024. “Potensi Biomassa Laut Asal Pulau Timor sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol untuk Mengatasi Masalah Krisis Energi dalam Mewujudkan Substainble Development Goals 7”. *Jurnal Redoks*. Vol. 9(2): hal. 121-128.
- Nurhayati, Shahibul Auzan, Lia Handayani, Azwar Thaib, T. M. Haja Almuqaramah dan Faisal Syahputra. 2023. “The Effectiveness of Activated Charcoal in Feed on Histopathological Features of The Spleen of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Organophosphate Insecticides”. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*. Vol. 10(1): pp. 72-76.
- Pemerintah Indonesia. 2014. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional. *Hukum Online*, 1–60.
- Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional.
- Rifdah, R., Kalsum, U., dan Anugrah, I. S. 2022. “Pengaruh *Saccharomyces Cerevisiae* Terhadap Kadar Etanol dari Kulit Nanas Secara Fermentasi”. *Jurnal Teknik Patra Akademika*. Vol. 13(02): 115-126.
- Saputra, Ahmad Erwin dan I Wayan Susila. 2020. “Uji Peforma Mesin Sepeda Motor Honda Beat 108cc Berbahan Bakar Campuran Premium dan Bioetanol dari Batang Rumpun Gajah”. *Jurnal Teknik Mesin UNESA*. Vol. 10(1): hal. 80-86.
- Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi. 2024. *Prediksi Cadangan Minyak dan Gas Bumi 2024*.
- Sinulingga, E. A. 2017. “Penggunaan Flyash dan Zeolit untuk Menghemat Konsumsi Bahan Bakar dan Mereduksi Emisi Gas Buang Sepeda Motor Bensin 4-Langkah”.
- Sirappa, M.P. 2003. “Prospek Pengembangan Sorgum di Indonesia sebagai Komoditas Alternatif untuk Pangan, Pakan dan Industri”. *Jurnal Litbang Pertanian*. Vol. 22(4): hal 133-140.
- Suharyati, Pambudi, S. H., Wibowo, J. L., Pratiwi, N. I. dkk. 2023. *Energi Indonesia 2023 Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional*.
- Soraya, H. 2022. Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong (*Manihot Utilissima*) dalam Pembuatan Bioetanol Guna Mengatasi Masalah Paraffin Wax pada Sumur Produksi Minyak Bumi (*Doctoral dissertation*, Universitas Islam Riau).
- Wulandari, R., dan Priyono, C. 2014. Pengaruh Ukuran Partikel Zeolit Terhadap Peningkatan Kadar Bioetanol. *Indonesian Journal on Medical Science*. Vol. 1(2).